

かぶりの浅い砂質質地山トンネルの力学挙動の検討

徳島大学工学部 正会員 小嶋啓介
 京都大学工学部 正会員 足立紀尚
 徳島大学工学部 正会員 澤田健吉
 徳島大学大学院 学生員 ○森 琢真
 (株)鴻池組 福嶋 渉

1. まえがき 近年ジオフロントという言葉が注目をあび、都市部を中心として地下空間の有効活用の必要性が増している。わが国の都市部におけるトンネル掘削に際しては、地下水位が高い未固結砂や軟弱粘土層からなる地山において、地表面ならびに既設構造物への影響を最小限に抑える必要があるため、シールド工法によって施工されることが一般的である。しかしながら、施工法の発達およびコスト削減要求から、都市トンネルにおいてもNATMが採用されるケースが増加してきている。したがって、トンネル掘削時の周辺地山の力学挙動を的確に予測するとともに、最適な補助工法の確立が重要な課題となる。ここでは、土かぶりの浅い未固結地山をアルミ棒積層体によってモデル化したトンネル掘削の模型実験を行い、トンネルの掘削にともなう周辺地山の力学的挙動と支保効果について検討した結果を報告する。

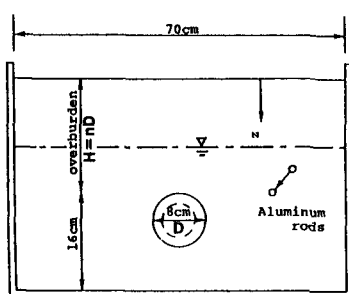


図-1 実験装置の概要

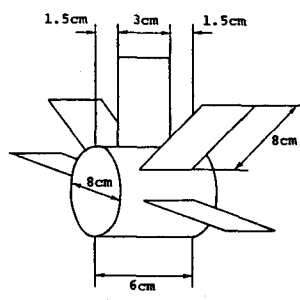


図-2 支保工のモデル

2. トンネル掘削のモデル実験の概要

本研究で用いた実験装置の概要を図-1に示す。未固結地山は長さが50mm、直径が1.6mmと3.0mmのアルミ棒を重量比で3:2に混合し、所定の土かぶりまで一様に積み上げることでモデル化したもので、図に示す位置にあらかじめ埋設したトンネル模型によってトンネル掘削をシミュレートした。トンネル模型は、円筒形のゴム膜内に土かぶり圧に相当する空気圧を作用させ、掘削にともなう応力の解放を空気圧の減少によってシミュレートするものである。なお、模型実験は土かぶり、支保工の種類、地下水位などの条件を変化させて行ったが、ここでは土かぶり深さHがトンネル直径Dの2倍である土かぶり2Dのみの結果について示す。支保工としては、ライニングとロックボルトを選択し、図-2に示すように紙でモデル化し、トンネル模型の外周にあらかじめ配置した。ロックボルトについては、地山との付着力を与えるために、モデル地盤材料であるアルミ棒をロックボルトに接着している。また、地下水の存在が地山安定性を与える影響を検討するために、地下水位を考慮しないもの、地下水位0D、1D、2Dの4種類を設定して実験を行った。

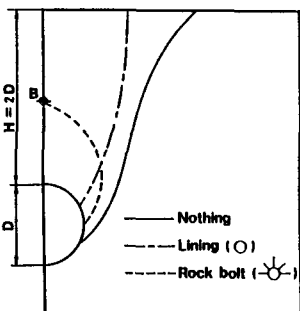


図-3 地山内等変位線

3. 実験結果と考察 図-3は支保工を設置しない場合、ライニングのみの場合およびロックボルトをトンネル上半部に45°間隔に5本設置した場合に対し、トンネル模型の内圧を100%除去した時点での地山内変位1mmの等変位線を示している。支保の効果は明かであり、ロックボルトを導入することにより、トンネル掘削による緩み域はトンネル上部の地山内にとどまり地表面に達しないことがわかる。図-4

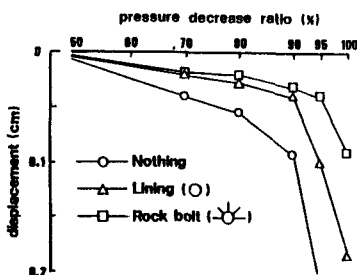


図-4 応力解放率と変形量

はトンネル内圧の解放率と、図-3に示す点Bの沈下量の関係を示している。同図より、支保の存在により変形が抑止され、応力の解放にともなう変形速度も低下していることが認められる。

次に、ロックボルトをトンネル上半に45°間隔の5方向、鉛直および水平の3方向ならびに水平より45°上方の2方向に設定し、打設方向と支保効果との関係を検討する。図-5は地山内変位1mmの等変位線をロックボルトの打設方向ごとに示している。同図より、鉛直・水平の3方向に設置した場合の領域と比較して、水平より上方45°の2方向に設置した場合には、ボルトの本数が少ないにもかかわらず緩み域が縮小していることが明かである。このことは、ロックボルトを斜め上方に設置した場合には、トンネル掘削時に出現するすべり面の外側にボルトの定着部が存在するためであると考えられる。

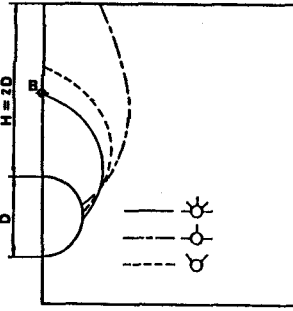


図-5 地山内等変位線

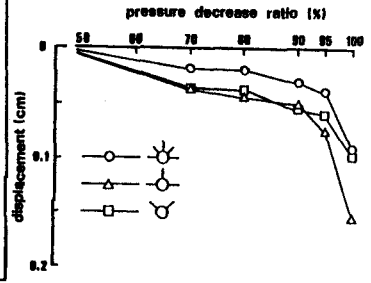


図-6 応力解放率と変形量

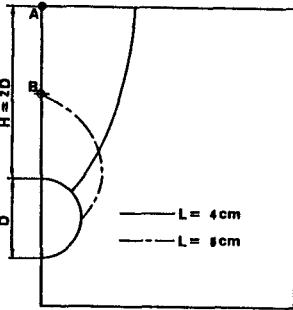


図-7 地山内等変位線

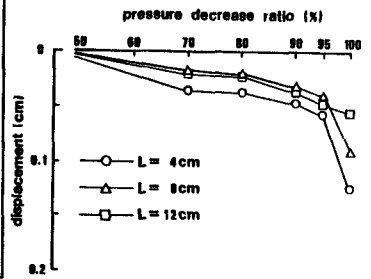


図-8 応力解放率と変形量

また、図-6に示すように、地山内の点Bにおける応力解放率ごとの変形量の関係から、斜め上方に打設しない場合には、抑止効果が劣ることが明かである。

図-7はロックボルトの長さとの抑止効果の関係を検討したものであり、ロックボルトを5方向に打設した場合に

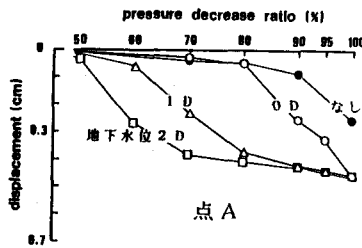


図-9 応力解放率と変形量

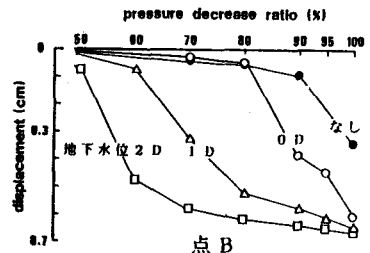


図-10 応力解放率と変形量

ついて、ボルト長ごとの地山内変位1mmの等変位線を示している。同図より、ボルト長4cmにおける領域は地表面にまで達しているのに対し、ボルト長8cmではトンネル上部の地山内で閉じた領域になり、ボルト長12cmになると、この領域は消滅している。また、図-8に示すように、地山内の点Bにおける応力解放率ごとの変形量の関係から、ボルト長の影響は応力解放率の大きな時点に特に顕著に認められる。

以下では、地下水位が地山安定性に及ぼす影響について検討する。図-9および10は各地下水位の下で、図-7に示す地表面上の点Aと地山内の点Bの応力解放率と変形量の関係である。同図より、地下水がない場合と比較して、地下水位が高くなることにより、地山が崩壊に至る応力解放率が減少していることが明かである。このことは、地下水位が高くなることで、解放土圧が大きくなる一方で有効拘束圧が減少するためであると考えられる。なお、最終沈下量が一定値に収束しているのはトンネル模型の制約によるものである。

4. あとがき 今後は、トンネル掘削時に認められる3次元的な変形挙動を明らかにする実験を行うとともに、実験結果および現場観測データを再現できる解析法を検討していく方針である。

参考文献 小嶋啓介, 足立紀尚, 澤田健吉, 森琢真(1990): 砂質地山トンネルの力学挙動に関する実験的研究, 第42回土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集, pp. 338-339.